

8 貯水池等の管理

ダム機能を長期にわたって正常に維持するため、貯水池及びその周辺における点検を適切に実施するとともに、貯水池の湖岸及び貯水池周辺斜面の維持、富栄養化・濁水障害・冷水障害等の水質の保全、堆砂対策、流木処理等の貯水池などの管理に努めるものとする。

また、ダム貯水池は親水空間を有する大規模施設であることから、地域の癒やし空間や交流の場としての効果が期待される。このため、周辺の景観等環境との調和に配慮するとともに、管理要員、周辺住民等の安全を図るため安全管理施設を点検するなどして事故防止に努めなければならない。

8.1 貯水池の湖岸及び周辺斜面の維持

貯水池の湖岸及び周辺斜面の維持は、貯水機能を適正に維持するため非常に重要である。特に、貯水池の湖岸の平常時最高貯水位（常時満水位）付近で法面保護を実施していない斜面では、波浪による侵食が進行する場合が多い。このため、試験湛水時から継続計測を必要として引き継がれた箇所等では試験湛水に準じた計測、監視を行うとともに、それ以外の湖岸についても地すべりや法面の崩壊、侵食等の状況について日常的に巡回を行い重大な事故等が発生しないよう留意しなければならない。

8.1.1 貯水池周辺斜面

貯水池周辺斜面は、降雨や河川の侵食などの原因に加えて、貯水という新たな外力が作用することにより、従来安定していた斜面でも不安定化することがある。

貯水池周辺斜面は、すべりブロックの全部又は一部が貯水位の変化を受けることによって、すべりブロックの下部が浮力を受けたり、水位下降時に残留間隙水圧が生じたり、あるいは下部ブロックの侵食によって、すべりブロックが安定を失ってすべるものである。

なお、事業主体から引き継がれる資料としては、貯水池周辺斜面对策として事業の各段階で実施された調査等の関連資料が整備され引き継がれる。引継資料としては、「7.2 試験湛水に関する記録等の引継」の表-7.2に示すものがある。

ここで、“貯水池周辺の範囲”は、湛水の影響の及ぶ範囲として、貯水池両岸の尾根（分水界）及び貯水池末端から約1km上流までを目安とするが、付帯道路等も考慮し概査段階では、ダムサイトから約2～3km下流までを目安とされている。

貯水池周辺にすべりが発生すると、貯水池周辺斜面の保全はもとより、ダム本体の安全性や貯水池の機能に影響を及ぼすため、湛水前に適切な調査を行い、すべり等の発生の可能性を検討し、所要の対策を事前に講じることが重要である。

ダム建設前の調査・設計時には、貯水池周辺の地形図・空中写真からすべり地形を判読し、これら水没する斜面の危険度が判定される。この危険度判定から抽出した斜面を対象に、貯水池周辺斜面のすべり要因、すべり範囲等を推定するための調査・試験を実施する。この結果、求めたデータ

を用いた斜面の安定解析において所要の安全率が満足しない場合、滑動抵抗力を増加させ斜面の安定を図る対策工が施工される。

試験湛水時には、この対策工に対する点検により斜面の挙動を監視するとともに、対策工の効果を判定する。

ダム供用後には、ダム設置者から引き継がれた監視時に留意すべき項目等に基づき、施設管理者による点検が行われる。

これまで述べてきたとおり、「貯水池周辺の保全」の重要性は高いことから、改めてすべりに関して地すべりの基本事項を以下に示す。

(1) 基本情報の確認

地すべり変状の発生や異常を判断するためには、管理受託時に施設管理者に引き継がれる「地すべりブロック選定理由」「保全対象物」「滑動度」「計測機器と計測頻度」などを理解した上で、点検等の管理を行う必要がある。

これらの基本的情報と現時点における安全性については、国営造成農業用ダム安全性評価の実施について(H24. 3. 30 付け 23 農振第 2728 号整備部長通知)に基づく安全性評価において、「設計・施工内容の確認」、「計測値や踏査結果による機能診断」などにより安定性に関する評価が整理されている。

(2) 地すべりの基本事項

ア 地すべりの分類

地すべりの型分類は、主として地すべり頭部の移動物質の性状に基づいた分類で、地すべり頭部の土塊が地すべり滑動後も比較的乱されることが少なく、滑動前の地山の性質を最もよく保存していると考えられることに着目したもので、「岩盤地すべり」、「風化岩すべり」、「崩積土すべり」、「粘質土地すべり」に分類される。

イ 地すべり地形

一般的な地すべり地形を図-8.1 に示す。その特徴は、地すべり頭部は引張り地帯にあたり、馬蹄形状の滑落崖等から緩斜面に移行する地形変換線や陥没帯が認められる。地すべりの中間部では、緩斜面あるいは陥没状地形の連続、さらに地表面での陥没や隆起などが認められる。地すべり末端部は圧縮地帯にあたり、斜面末端部での隆起、あるいは緩斜面から急斜面への移行、さらに圧縮亀裂などが認められる。地すべり側面部では、側面亀裂や急斜面から緩斜面への明瞭な勾配の変化、あるいは沢状地形などが認められる。

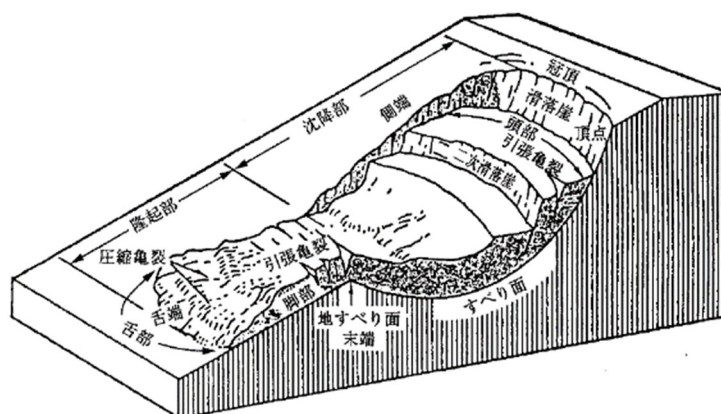


図-8.1 地すべりブロックの各部名称

(Varnes, D. J. (1978)、ここでは、土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」
技術書〔共通編〕平成 15 年 4 月 農林水産省農村振興局、P. I-203 より引用)

このような地形は、地形図上では、周辺の山腹斜面の等高線がほぼ等間隔で平行であるのに対し、地すべりの部分だけは上部の等高線が上に凸で、間隔が急に縮まり、中部では逆に広がり、末端部では下に凸となり再び縮まるという等高線の乱れとなって現れる (図-8.2)。

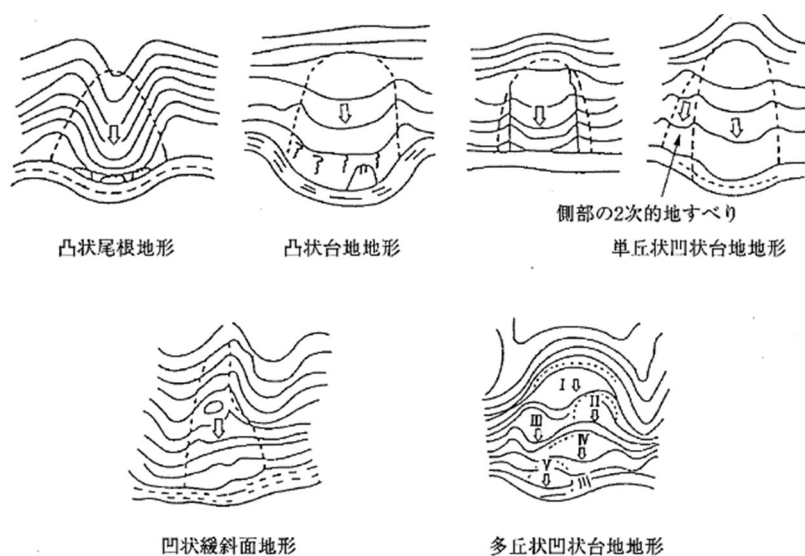


図-8.2 地すべりの地形形状

(引用文献：渡正亮、酒井淳行：地すべり地の調査と調査の考え方、
土木研究所資料第 1003 号、建設省土木研究所 (1975))

ウ 湛水に伴う地すべり等の要因

湛水に伴う地すべりは、降雨、融雪、侵食などの要因に加えて、ダムの湛水という新たな要因が作用することによって、従来の安定した地すべりが再び運動したり、運動履歴の少な

いところで新たに地すべりが発生することがある。

なお、貯水池周辺で発生した地すべりの60%が初期湛水で発生している（図-8.3 参照）。

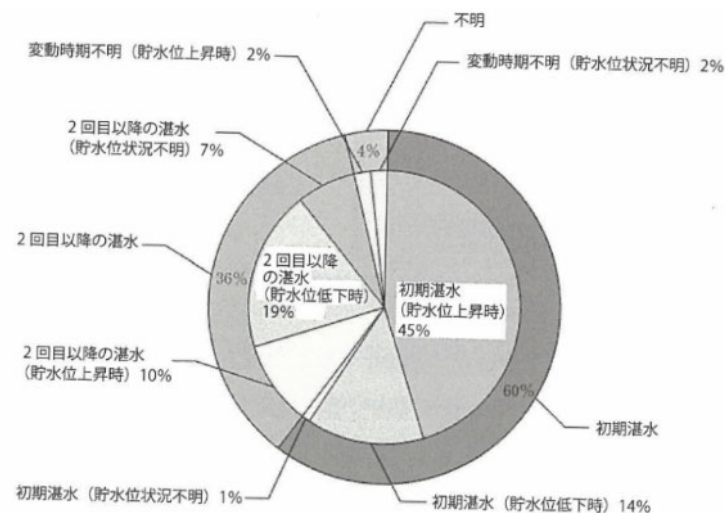


図-8.3 貯水池周辺で発生した地すべりの貯水位状態

2006 年までの事例（63 ダム 635 ブロック）の中から抽出された全 84 ブロック。

（ ）内は初期湛水、2回目以降の湛水のそれぞれの中での状態

（引用文献：「貯水池周辺の地すべり調査と対策、国土開発技術センター」（2010）P. 41）

エ 貯水に伴う地すべりの発生とその特性

貯水池周辺に地すべりブロックが存在する場合は、一般的な地すべり発生の誘因に加え、貯水による地すべりブロックへの影響を考慮する。ダムの貯水が地すべりの誘因となる場合として次のようなものが考えられる。

- ・貯水位の急速な下降による残留間隙水圧の発生（図-8.4）
- ・水没による地すべり土塊内の地下水位の上昇（図-8.5）
- ・水際斜面の侵食・崩壊による受動部分の押え荷重の減少（図-8.6）
- ・地すべりの土塊の水没による浮力（間隙水圧）の発生（図-8.7）

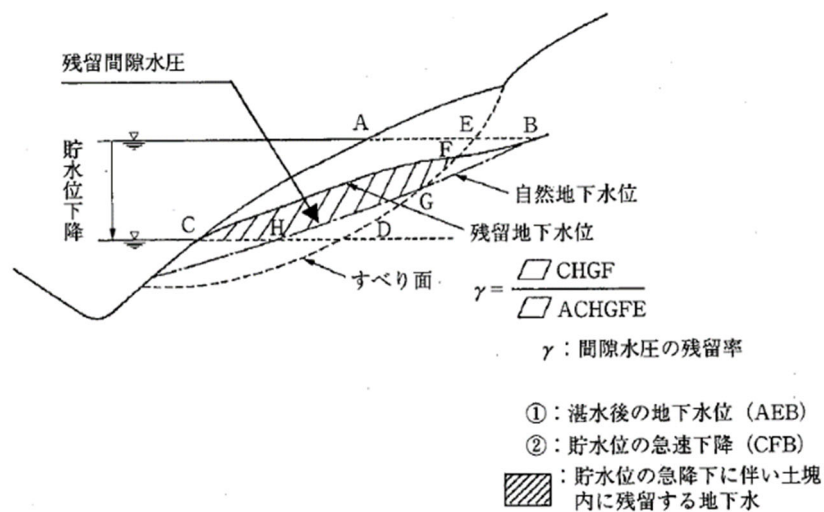


図-8.4 貯水位の急速な下降による残留間隙水圧の発生

(引用文献：土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」(共通編) P. I-206)

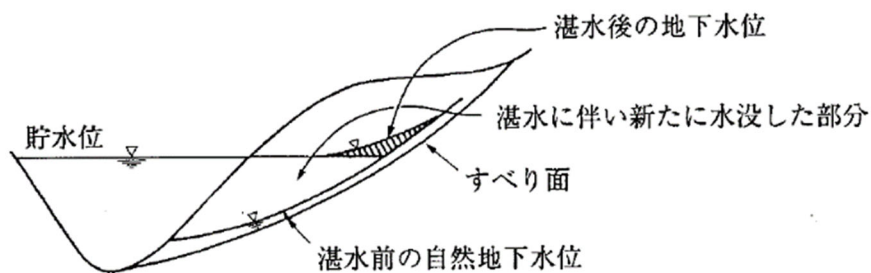


図-8.5 水没による地すべり土塊内の地下水位の上昇

(引用文献：「貯水池周辺の地すべり調査と対策、国土開発技術センター」(2010) P. 42)

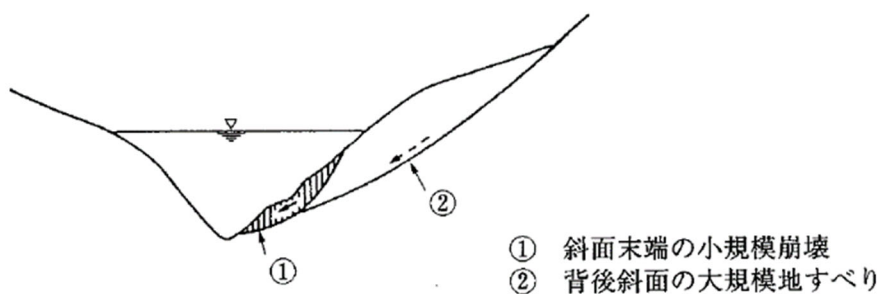


図-8.6 水没斜面下部の小崩壊が誘因となる地すべりのモデル

(引用文献：「貯水池周辺の地すべり調査と対策、国土開発技術センター」(2010) P. 45)

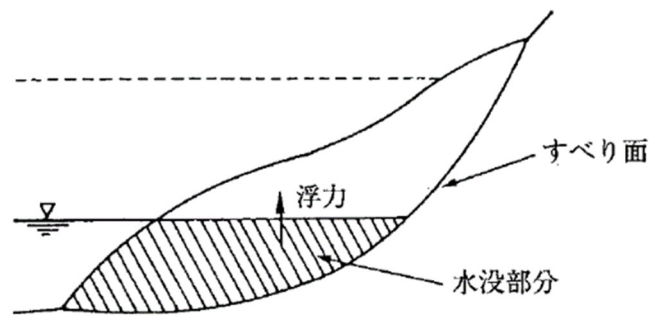


図-8.7 貯水位の上昇による浮力（間隙水圧）の発生

（引用文献：「貯水池周辺の地すべり調査と対策、国土開発技術センター」（2010）P. 42）

オ 保全対象への影響の検討

貯水池周辺の保全対象は、ダム施設、貯水池周辺の施設、その他の貯水池周辺斜面施設の3つに大別される。以下に、各施設の概要を示す。

（ア）ダム施設

ダム施設には、堤体、管理所、通信設備、取水設備、放流設備（副ダム、減勢工を含む）、発電設備などがある。これらのダム機能に直接関わる施設が地すべり等の影響を受けた場合は、社会的に大きな影響を生じるおそれがあるため、重要な保全対象施設である。

（イ）貯水池周辺の施設

貯水池周辺の施設には、家屋、道路、鉄道、送電鉄塔などがある。その中でも家屋や国道、主要地方道路、迂回路の内地方道、林道、トンネル、鉄道などの公共施設が存在する斜面は保全の重要性が高い。一方、迂回路のある地方道、林道、管理用道路、ダム機能に直接関わりのない係船設備、流木処理設備、貯砂ダムなどが存在する斜面は、保全の重要性は相対的に低い。

（ウ）その他の貯水池斜面施設

保全対象としてダム施設や貯水池周辺の施設を有さないその他貯水池周辺斜面のうち、貯水池周辺の山林保全上、あるいは景観保全上重要である斜面などは、地すべり等が発生した場合の影響を考慮して、適時対策の必要性を判断する。

8.1.2 計測計画

湛水に伴う地すべりの滑動には初期湛水時に発生するものと、管理段階で発生するものがある。前者は貯水池斜面が初めて水没するときの反応であり、後者は貯水位が繰り返し変動しているときの反応である点が異なっている。このため、地すべりは、適時安定性を評価し、その状態に応じた管理を実施しなければならない。

8.1.2.1 計測・監視体制

管理基準値（8.1.5.1 管理基準値に記載）を超過した場合や地すべりが発生した場合に、状況判

断を的確に行うため事前に監視体制を整備、確立しておく必要がある。このためには、情報の連絡方法、管理基準の超過時とその後の対応、緊急時、異常時の状況判断及び水位操作などの判断者について整備、確認しておく必要がある。

一方、貯水池周辺斜面の管理における計測・監視では、管理時の地すべり計測・監視は、その地すべりの規模・安定性・保全対象物などに配慮し、適切に実施する必要がある。また、ダム供用後には、これらの事項と試験湛水結果の経験から設定された管理項目・頻度などダム設置者より引き継いだ項目に留意し、日常点検・1次調査を行う必要がある。

なお、ダム管理を継続していく中で、長期にわたり安定していると思われる状態が継続する場合には、土地改良調査管理事務所等の技術職員に連絡し、管理基準値・計測頻度の軽減といった計測・監視の見直しを行い、管理の省力化を図ることが望まれる。

(1) 通常時における貯水池周辺斜面の点検方法

施設管理者が行う監視は、基本的に日常点検における巡視（目視観察）や、1次調査におけるパイプひずみ計など移動量調査の計測等である。

巡視における一般的な着目点を下記に示す。

ア 点検作業

- ・日常点検は、巡視を中心とした点検を行う。
- ・貯水池内地すべりなど、その場所に行くことが困難な場合は、目視と定点写真により、その変化傾向を評価する（近年では、UAV（小型無人航空機）を用いた確認も行われている）。
- ・貯水池周辺斜面の巡視ルートは、変状が発生しやすい地すべり等の頭部や側部、過去の地すべり等によって生じた可能性のある道路面・地表面の亀裂や構造物の変位箇所及び地すべり等が発生した場合に保全対象に障害が生じると予想される箇所を中心に、巡視ルートを設定する。

イ 点検時着目点

- ・地すべりブロックの変状（冠頭部の沈下や端部のはらみだし）。
- ・今までとは違う位置からの湧水の発生、又は湧水量の変化。
- ・管理用道路の亀裂、段差発生。
- ・保護モルタル・フリーフレームの亀裂

(2) 異常時の対応

供用後に地すべり等の変動の兆候が計測又は確認された場合には、関係機関と協議を行い、速やかに入念な調査を行うとともに所要の対策工を施工して被害を未然に防止する必要がある。異常事態の発生に適切かつ迅速に対処するため、現場から上部機関へスムーズに伝達し、速やかな状況判断と対応を行うための連絡体制を事前に整備、確立しておくことが必要である。

連絡体制の整備に当たっては、次の点に留意するものとし、連絡に当たっては、「3.3.1(3) 緊急時の連絡等」に基づき行うものとする。

- ・情報の連絡方法
- ・管理基準値を超過した場合の対応

- ・緊急時、異常時の状況判断及び水位操作などの判断者

なお、計測結果の判断に疑義が生じたときは専門的知識を有する者の意見を求めることも必要である。管理基準値を超過した場合の一般的な対応は図-8.8に示すとおりである。

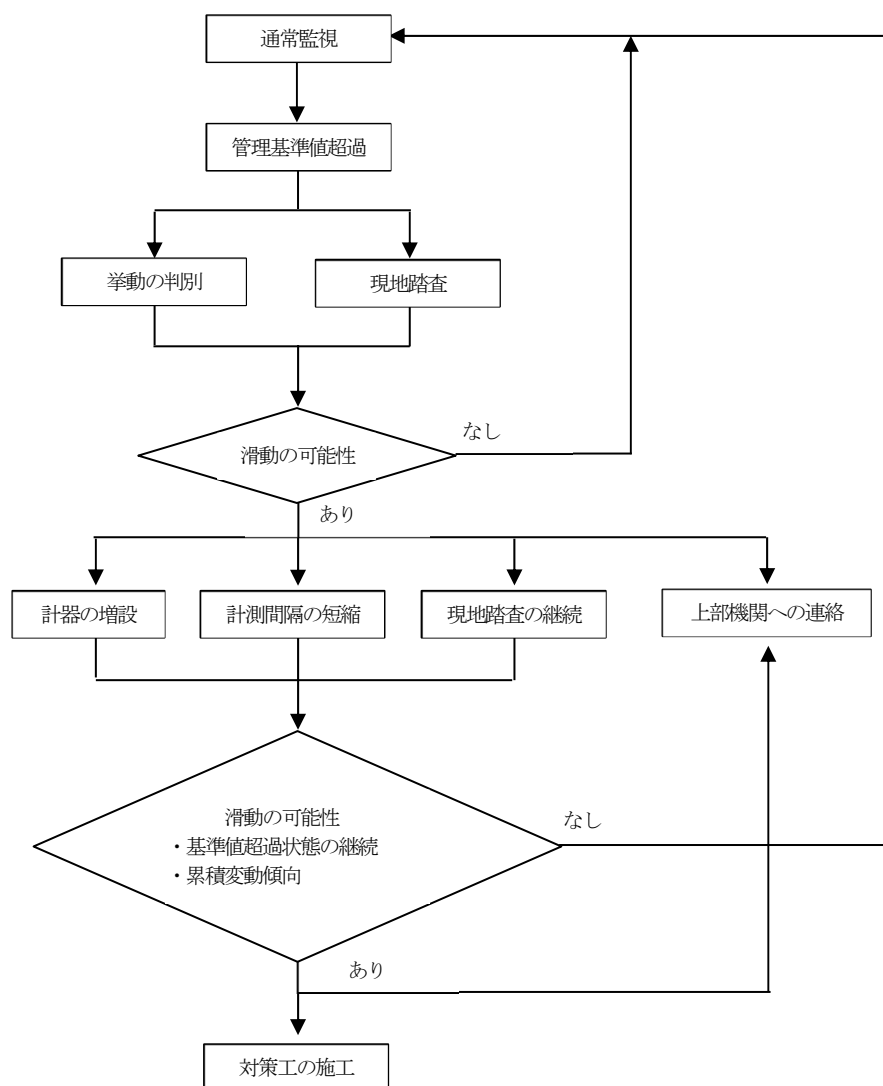


図-8.8 異常時の対応

8.1.3 計測方法

地すべり等の計測方法には数種類がある。このため、第一期から引き続き計測が行われる場所については、設置されている計測設備の機能、システムを良く理解して計測することは当然であるが、管理段階で特異な状況が確認された場合は、土地改良調査管理事務所等の技術職員に連絡を行う必要がある。

【参 考】

(1) 計測システム

計器計測の方法には、自動計測と手動計測（半自動計測を含む）がある。

自動計測の場合は、データ収集、解析（変動図の作成）がリアルタイムで実施可能であり、微小な変動値であっても時々刻々の累積傾向（地すべりの前兆であることが多い）の有無をとらえることができる。また、気温などの影響による日周期変動を検出できるため、変動パターンの分析によって挙動が的確に判断できること、多くの計器の動きを総合的に判断することができるなどの利点があり、導入する例が多くなっている。

自動計測は、手動計測では困難な連続計測が可能であり、正確な挙動の判別が要求される場合には積極的に導入を図るべきである。ただし、自動計測においても温度変化による零点のドリフトなどの影響は除去できないので、定期的なチェックが必要である。

(2) 計測計器

計器はその目的に応じて表-8. 参1を参考にして選定する。

各計測機器の構造等の詳細については「地すべり観測便覧」を参考とされたい。

表-8. 参1 監視・計画の目的と方法

目 的	方 法	
	計 器 計 測	監 視
A. 対策工の効果、安全性の確認	・鋼管坑内に埋設したひずみ計、孔内傾斜計 ———— 鋼管杭工の効果 ・杭頭変位測量 ———— ・地下水位計、排水流量測定 ———— 地下水排除工の効果 ・アンカー荷重計 ———— アンカー工の効果 ・深礎工の土圧計、鉄筋計 ———— 深礎工の効果	・杭頭付近の地山の状況の確認 ・アンカー法枠の亀裂・変形の有無の確認 ・斜面ルートを設定し、巡視によって地表や構造物の新たな亀裂、変形の早期発見に努める。
B. 斜面挙動の把握	・Aに示した計測器 ・地盤伸縮計 ・地盤傾斜計 ・パイプひずみ計 ・孔内傾斜計 ・光波測量 ・多層移動量計 ・地下水位計	・Aに示した監視 ・斜面にルートを設定し、巡視によって地表や構造物の新たな亀裂、変形の早期発見に努める。 ・対策工の変形の有無等の確認
C. 設計計算の妥当性の検証	・地下水位計 ・アンカー荷重計 ・深礎工の土圧計、鉄筋計	

この場合、地すべりブロックの状況を考慮し、同一ブロック内に数種類の計器を適切に配置して計測を行い、計測結果の総合的な判定によって地すべりを管理することが必要である。

主な地すべり計測機器を表-8. 参2に示す。

表-8. 参2 地すべり計測機器一覧表

計測項目	計測機器名	感度	測定範囲	耐用年数	計器の保守点検	一般に用いられる機器	採用頻度
地表の傾斜変動	地盤傾斜計	1 秒	(±1 度)	10	1 回/年	水管式傾斜計	◎
地表やすべり面の変位変動	地表伸縮計	0.2mm	(±10 cm)	数年	1～2 回/年	地表伸縮計	◎
すべり面位置	パイプひずみ計	10×10^{-6}	10.000×10^{-6} 以上	1～3	1～3 回/年	静ひずみ指示計	◎
〃	地中傾斜計	5～10 秒	±5～30 度	約 5	2～4 回/年	挿入型傾斜計、設置型傾斜計	◎
構造物の傾動	構造物傾斜計	1～10 秒	±1～30 度	約 5	1～2 回/年	水管式傾斜計、傾斜計	△
構造物の変位	構造物変位計	0.01 mm	±5 mm～50 cm	約 5	1～2 回/年	変位計、ダイヤルゲージ	○
構造物の応力	土圧計	0.05%FS	各種	約 5	1～3 回/年	静ひずみ指示計ほか	△
地下水位	地下水位計	1 cm 0.05%FS	10～(20 cm) 2～30m 各種	数年 約 5	1～2 回/年	リーシャル式水位計、水圧式水位計	◎
間隙水圧	間隙水圧計	0.05%FS	$1 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ 各種	約 5	1～3 回/年	静ひずみ指示計ほか	△
降雨量	雨量計	0.5 mm		約 10	1～2 回/年	隔測自記雨量計	○
地盤の変位	移動杭					光波測距儀、トランシット セオドライト、レベル	◎

注 1 保守点検は、上表のほか測定時、又は1回/月 程度の日常点検を行う。

2 耐用年数は、正常の状態での標準年数

3 採用頻度 ◎非常に多い ○多い △少ない

4 埋設計器（パイプひずみ計、挿入型傾斜計、土圧計、間隙水圧計）本体は、保守点検不可能であるが、ケーブルの絶縁抵抗等の日常点検を励行する。

8.1.4 管理段階の計測・監視

管理段階の計測・監視は、ダム設置者から引き継いだ資料（試験湛水後に設定した管理基準値等）に基づき行う必要がある。試験湛水後に設定した管理基準値等の供用期間中の計測・監視結果において、監視対象とされた貯水池周辺斜面の安定性が確保されていると判断できる場合には、土地改良調査管理事務所等の技術職員に相談の上、計測・監視を中止又は緩やかにして管理の合理化を図ることも考えられる。

なお、管理段階では、貯水位の操作状況や気象状況によって計測・監視の頻度を変えることが必要であり一般的な計測・監視頻度を次に示す。

(1) 通常時

基本的には1回／1週間程度の頻度とするが、異常な変動が認められた場合には密な頻度とする。

(2) 急激な貯水位操作時

貯水位を急激に降下させる場合は、残留間隙水圧の発生によって土塊が不安定化することが予想されるため、試験湛水時の貯水位降下時に準じて、2回／1日以上計測を行う。ただし、このような貯水位操作を行った後も安全と認められる場合には、その頻度を減じることができ

る。

(3) 異常気象及び地震発生後

あらかじめ設定された規模以上の降雨や地震が発生した場合には、臨時点検を行う。ただし、挙動や状況に変化がないことが確認できれば、通常の計測頻度に戻すことができる。

これらの計測・監視は貯水位の上昇、下降をある程度経験し、安全性を確認するまで行う。この期間は、地すべりの種類や状況にもよるが、特に重要と考えられるものについては5～10年程度の間慎重な監視が行われる場合もある。

8.1.5 管理基準値及び挙動の判別

管理基準値及び挙動の判別については次のとおりである。

8.1.5.1 管理基準値

管理基準値とは、これを超過した場合に計測・監視体制を強化するための目安として設定する数値のことであり、地すべりの型分類、変動履歴、地形・地質等を考慮して設定されている。管理基準値は、これを超過しても直ちに地すべりの活動を意味するのではない。

管理基準値は、実際の変動前から変動時にかけての計測データなどをもとに設定されるが、一般に表-8.1に示される値前後のものが用いられている。

表-8.1 管理基準の例

伸縮計及び 地中傾斜計	5日間の変動量が平均して1.0mm/日以上
	5日間の累積変動が平均して0.4mm/日以上
地盤傾斜計	5日間の変動量が平均して1.0秒/日以上
	5日間の累積変動量が平均して0.5秒/日以上

なお、日常管理における点検結果に基づく斜面の安全性の評価結果を踏まえて、適宜、管理基準値の見直しを行うことを基本とする

8.1.5.2 挙動の判別

挙動の判別とは、管理基準値を上回る値が計測された場合には、斜面になんらかの異常の兆候が現われ始めたと考えらるべきであり、同一の地すべりブロック内に設置された各種の計器の計測データや監視結果を総合的に分析して、対象とする斜面の挙動を慎重かつ正確に判別することを指す。

このとき、計器の累積変動の有無・傾向、変動の経時的変化及び貯水位・降雨など外的要因との関係、変動パターンにも着目することが肝要である。また、計測間隔を短縮して慎重な計測を行うとともに土地改良調査管理事務所等の技術職員への連絡を行う必要がある。また、必要に応じて計器の増設を行うなどの措置も必要である。

8.1.6 計測結果の整理

管理の記録は、できるだけ検索が容易で、関連ある記録と対比しやすいように整理し、計測・監視に伴う各種計測値は表又はグラフにより記録する。また、巡視・調査結果の記録については、詳

細かつ明確に記載し、必要に応じて図面、写真を添付する。

8.1.7 計測結果の評価

地すべりに関する各種の測定データは、測定中における変動の状況を判断するため、迅速かつ適正な評価を行うことが必要である。測定されたデータを、各ダムで設定されている管理基準値と比較して、安定性を評価し、地すべりブロックの滑動状況を総合的に評価する。しかし、万が一にも地すべり滑動の兆候が計測された場合には、速やかに土地改良調査管理事務所等の技術職員に連絡を行うとともに、必要な対策を講じて最悪の事態の発生を未然に防止することが必要である。また、土地改良調査管理事務所等は状況に応じて二次調査を行うなど適切な対応を行う必要がある。

8.1.8 地すべり発生時の対応

貯水時に地すべりが発生した場合、又は地すべりが予測される場合の緊急かつ効果的な対応と、施工可能な応急対策について事前に検討しておくことが望ましく、発生時及びその後の行うべき貯水位操作の作業手順について確認しておく必要がある。貯水池周辺斜面に変位が発生し、その変動量が大きく、継続する場合には滑動のおそれがあるために、被害を最小限にとどめる対策を講じ、地すべりの挙動が鎮静化するまで待ち、鎮静化後地すべりの対策を行う。

8.1.8.1 現場対応

地すべり発生に際してはまず、その状況に応じて変動範囲内への関係者以外の立入を禁止するとともに、道路が存在している場合には監視人の配置、通行止めなどの安全対策を講じる必要がある。

8.1.8.2 水位操作

地すべりが発生した場合、又は地すべりが予測される場合は、貯水位の上昇、下降に関係なく、水位操作を一時中断することが基本である。特に貯水位の降下時に地すべりが発生した際は、水位操作の中断が必要である。また、地すべり発生時には、その状況を適切に判断した上で変動が発生した貯水位以下までゆっくりと貯水位を降下させる場合もある。

8.1.8.3 挙動監視

確認された亀裂・変位等については、速やかに亀裂の変位が確認できるよう杭などを設置し、計測を開始する必要がある。その後必要に応じて土地改良調査管理事務所等により計測の必要性判断、計測方法の検討、機器の設置などが行われる。

8.1.9 地すべり防止施設の保全管理

地すべり防止施設は、地すべりの影響を直接受けるため施設損壊のリスクが大きく、また、安定した地盤に計画されないことも多く将来的な施設の劣化を予測しにくい側面があるが、点検や機能診断に係るデータを蓄積して劣化特性を把握し、予防保全型の管理を行うことが望ましい。

8.2 水質の保全

貯水池における水質は、ダムの目的に照らして保全されることが望ましい。

そのため、貯水池の水質の観測だけではなく、流入する河川水の状況、ダム流域の開発など水質に影響を与える環境の変化なども注視することが必要である。

8.2.1 貯水池における水質問題

8.2.1.1 冷水現象

冷水現象とは、貯水池の冷水を放流することにより、貯水池下流の河川水温が貯水池の出現する以前に比べ著しく低下する現象で、魚類等の生物の生育又は河川水を利用している農作物の生育に影響を与えることがある。

冷水現象の発生は貯水池の水温成層状況と取水位置に密接に関わっている。一般的に、貯水容量が流入水量に比べて相対的に大きい場合、晩春から夏季にかけて水温成層（夏の水温構造は、表層からそれぞれ①表水層（対流層）、②変水層（変温層・躍層）、③深水層と呼ばれている。）が形成される。この水温成層の形成により、夏場の暖かい水は、中・底層に入り込めず表層付近を流れ、取水口が中・底層にある場合には、放流水の水温が流入水よりも低くなり、冷水現象が生じる。

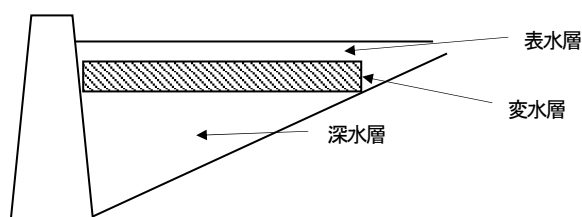


図-8.9 貯水池の水温分布図

8.2.1.2 濁水長期化現象

濁水長期化現象とは、一般的には洪水時に貯水池内へ流入した土砂などの微粒子が、洪水後も貯水池内で長期間浮遊し続け、これが放流されることにより、下流河川が長期に渡って濁ることをいう。

この現象は、貯水池の年回転率が大きく水の入れ替わりが速い混合型貯水池（平均年回転率 $\alpha > 20$ ）では発生する可能性が少なく、貯水池の年回転率が小さい成層型貯水池（平均年回転率 $\alpha < 10$ ）に多く見られる。また、夏季において貯水池表層付近に日射・気温による一次躍層が形成され、さらに取水口・放流口標高付近に熱移流による二次躍層が形成される場合に発生することが多い。

洪水時に流入してくる濁水は等密度の層に流入し、密度流となって濁水層を形成する。中・小規模の洪水（湖水交換率 $\beta < 1$ ）では、二次躍層及びその上層に滞留した濁水が徐々に貯水池から放流されるため濁水長期化現象が発生する。また、貯水容量を上回るような大規模洪水が流入した（湖水交換率 $\beta > 1$ ）場合、躍層は破壊され、貯水池全体が濁る。

以上は、水温上昇期及び躍層形成時における濁水現象であるが、春先又は晩秋ではその様子が異なる。

春先又は晩秋においては水面から熱が奪われ、部分的・一時的に上冷下暖の構造的不安定層を生じ、密度の大きな上層水が密度の小さい下層水と入れかわる。貯水池が濁った状態で、この大循環が発生した場合、下層から上層への熱移動による乱渦のため微細土粒子の沈降が妨げられ、表層付近に濁水が長期間滞留する。また、農業用ダムでは貯水位の低下するかんがい期の終わり頃において、貯水池への流入水が底泥の巻き上げを起こし、一過性ではあるが放流水が濁ることもある。

【参 考】

水温成層の形成の可能性

$$\text{平均年回転率 } \alpha = \text{年間総流入量} / \text{総貯水量}$$

(7月平均回転率 α_7) (7月の総流入量)

表-8. 参3 回転率と成層形成の関係

平均年回転率 (α)	7月平均年回転率 (α_7)	評 価
<10	<1	成層が形成される可能性がある。(成層型)
10~20 (例外あり)	1~5 (例外あり)	成層が形成される可能性がある程度ある。 (中間型)
20< (例外あり)	5< (例外あり)	成層が形成される可能性がほとんどない。 (混合型)

洪水流入と水温成層

$$\text{湖水交換率 } \beta = \text{洪水時総流入量} / \text{総貯水量}$$

表-8. 参4 洪水時における湖水交換率と水温成層の挙動

洪水規模	湖水交換率 (β)	水温成層の挙動
小規模洪水	$\beta < 1$	貯留及び取水又は放流によって洪水を吸収できる場合、水温分布はほとんど影響を受けない。
中規模洪水	$\beta < 1/2 \sim 1$ 程度	洪水吐きによって洪水を吸収できる場合、水温躍層はかなり変化するものの水温分布が維持されることが多い。
大規模洪水	$\beta > 1$	洪水によって、貯水池容量以上の洪水流入があった場合、水温分布は完全に消滅し、全層混合となる。

8. 2. 1. 3 富栄養化現象

富栄養化現象とは、貯水池内での栄養塩類（窒素・リン等）の増加に、藻類の増殖に適した貯水池の滞留時間、日照、水温等の条件が加わることによって藻類の生産量が増大する現象である。藻類の生産量が多くなると透明度の低下、貯水の着色による景観障害等種々の問題を発生させる。

貯水池の富栄養化は、貯水池の栄養塩類濃度（主に窒素とリン）が試験湛水時に底質、表土残留物等からの溶出によって一時的に高くなる場合や、ダム供用後に上流域から継続的に栄養塩類が流入することによって高まる場合に生じるとされている。しかし、最近の研究では湛水初期における植物プランクトンの発生原因と考えられていた草木の分解や底質、表土残留物等からの溶出は、実際に負荷源としては寄与していないことが判ってきている。

また、富栄養化現象も水温成層と密接な関係がある。成層した貯水池内の表層では植物プランクトンの増殖に適した温水層が形成され、下層の冷水層では成層形成に伴う鉛直混合の減少によって表層からの酸素供給が少なくなり、貧酸素状態となった結果、底質から栄養塩や鉄、マンガン等が溶出し、貯水池の富栄養化が促進される。

しかし、栄養塩類が増加し、貯水池が富栄養化状態になっても現象が発生しない場合、反対に、栄養塩類濃度が比較的低くても現象が発生する場合もあり、貯水池内の物理的、水質的条件と富栄養化現象との関係は複雑である。

8.2.2 貯水池の水質に係る環境基準等

貯水池における水質保全上の目標については、環境基本法第16条に基づいて「水質汚濁に係る環境基準」が定められている。

管理段階においては、貯水池の水質が上記基準を満足できることが望ましい。

環境基準は、「健康に関する基準」と「生活に関する基準」に分けて設定されている。健康に関する基準は、直接的に人間に有害有毒な重金属などの物質を対象にしており、全ての水域に共通である。かつては、カドミウムなど9項目であったが、近年トリクロロエチレンなどの項目が追加され26項目になっている。

生活に関する環境基準は、「河川」「湖沼」「海」の3水域に決められている。対象とする主な水質項目は、pH、BOD及びCOD、SS、DO、大腸菌である。そして、AA、A、B、Cなどの「類型」ごとに異なった水質基準が定められている。

これらの基準を上回った場合、ただちに問題となるわけではなく、各ダムに生じている水質問題やかんがい対象作物等の利水目的により、目標とする数値はおのずと異なってくるものと考えられる。このため、貯水池の水質管理に際しては、当該ダムに適した水質目標（水質項目、水質レベル）を設定する必要がある。

【参 考】貯水池の水質に係る環境基準等

環境基準以外にも、水を利用する側から定めた水質基準があり、農業用水水質基準や水道水質基準などがある。

農業用ダムにおける水質基準は、水稻を対象とした農業用水水質基準であり、この基準を満足すればよいが、他の目的を併せ持つ施設として、共同事業により造成されたダムも存在するため、ここでは農業用水水質基準以外に水道水質基準、工業用水水質基準もあわせて示す。

(1) 環境基準

ア 人の健康の保護に関する環境基準（令和4年4月現在）

項 目	基準値 (mg/ℓ)	項 目	基準値 (mg/ℓ)
カドミウム	0.003 以下	1,1,2-トリクロロエタン	0.006 以下
全 シ ア ン	検出されないこと	トリクロロエチレン	0.01 以下
鉛	0.01 以下	テトラクロロエチレン	0.01 以下
六 価 ク ロ ム	0.02 以下	1,3-ジクロロプロペン	0.002 以下
ひ 素	0.01 以下	チ ウ ラ ム	0.006 以下
総 水 銀	0.0005 以下	シ マ ジ ン	0.003 以下
アルキル水銀	検出されないこと	チオベンカルブ	0.02 以下
P C B	検出されないこと	ベ ン ゼ ン	0.01 以下
ジクロロメタン	0.02 以下	セ レ ン	0.01 以下
四 塩 化 炭 素	0.002 以下	硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10 以下
1,2-ジクロロエタン	0.004 以下	フ ッ 素	0.8 以下
1,1-ジクロロエチレン	0.1 以下	ホ ウ 素	1 以下
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04 以下	1,4-ジオキサン	0.05 以下
1,1,1-トリクロロエタン	1.0 以下		

(注1) 基準値は年間平均値とする。ただし、全シアンに係る基準値については、最高値とする。

(注2) 「検出されないこと」とは、定められた測定方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう。

(注3) 海域については、フッ素及びホウ素の基準値は適用しない。

(注4) 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の濃度は、規格 43.2.1、43.2.3 又は 43.2.5 により測定された硝酸イオンの濃度に換算係数 0.2259 を乗じたものと規格 43.1 により測定された亜硝酸イオン濃度に換算係数 0.3045 を乗じたものの和とする。

イ 生活環境の保全に関する環境基準（令和4年4月現在）

(ア) 河川（湖沼を除く）

項目 類型	利用目的の 適用性	基準値				
		水素イオン 濃度 (pH)	生物化学的 酸素要求量 (BOD)	浮遊物質 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌数
AA	水道1級 自然環境保全及びA以下の 欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	1mg/ℓ 以下	25mg/ℓ 以下	7.5mg/ℓ 以上	20CFU/ 100mℓ以下
A	水道2級 水産1級 水浴及びB以下の欄に掲 げるもの	6.5 以上 8.5 以下	2mg/ℓ 以下	25mg/ℓ 以下	7.5mg/ℓ 以上	300CFU/ 100mℓ以下
B	水道3級 水産2級 及びC以下の欄に掲げる もの	6.5 以上 8.5 以下	3mg/ℓ 以下	25mg/ℓ 以下	5mg/ℓ 以上	1,000CFU/ 100mℓ以下
C	水産3級 工業用水1級及びD以下 の欄に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	5mg/ℓ 以下	50mg/ℓ 以下	5mg/ℓ 以上	—
D	工業用水2級 農業用水及びEの欄に掲 げるもの	6.0 以上 8.5 以下	8mg/ℓ 以下	100mg/ℓ 以下	2mg/ℓ 以上	—
E	工業用水3級 環境保全	6.0 以上 8.5 以下	10mg/ℓ 以下	ごみ等の浮遊が 認められないこ と	2mg/ℓ 以上	—

- 備考 1 基準値は、日間平均値とする。ただし、大腸菌数に係る基準値については、90%水質値（年間の日間平均値のデータ数）のデータ値（ $0.9 \times n$ が整数でない場合は端数を切り上げた整数番目の値をとる）とする（湖沼、海域もこれに準ずる）。
- 2 農業利用水点については、水素イオン濃度 6.0 以上 7.5 以下、溶存酸素量 5mg/ℓ以上とする（湖沼もこれに準ずる）。
- 3 水道1級を利用目的としている地点（自然環境保全を利用目的としている地点を除く）については、大腸菌数 100CFU/100mℓ以下とする。
- 4 水産1級、水産2級及び水産3級については、当分の間、大腸菌数の項目の基準値は適用しない（湖沼、海域もこれに準ずる）。
- 5 大腸菌数に用いる単位はCFU（コロニー形成単位（ColonyFormingUnit））/100mℓとし、大腸菌を培地で培養し、発育したコロニー数を数えることで算出する。

- (注) 1 自然環境保全：自然探勝等の環境保全
- 2 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの
水道2級：沈殿ろ過等による通常の浄水操作を行うもの
水道3級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの
- 3 水産1級：ヤマメ、イワナ等貧腐水性水域の水産生物用並びに水産2級及び3級の水産生物
水産2級：サケ科魚類及びアユ等貧腐水性水域の水産生物用及び水産3級の水産生物用
水産3級：コイ、フナ等、β-中腐水性水域の水産生物用
- 4 工業用水1級：沈殿等による通常の浄水操作を行うもの
工業用水2級：薬品注入等による高度の浄水操作を行うもの
工業用水3級：特殊の浄水操作を行うもの
- 5 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩等を含む）において不快感を生じない限度

(イ) 湖沼（天然湖沼及び貯水量1,000万m³以上であり、かつ、水の滞留時間が4日間以上である人工湖）

項目 類型	利用目的の 適用性	基準値				
		水素イオン 濃度 (pH)	化学的 酸素要求量 (COD)	浮遊物質 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌数
AA	水道1級 水産1級 自然環境保全及びA以下の 欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	1mg/ℓ 以下	1mg/ℓ 以下	7.5mg/ℓ 以上	20CFU/ 100mℓ以下
A	水道2, 3級 水産2級 水浴及びB以下の欄に掲 げるもの	6.5以上 8.5以下	3mg/ℓ 以下	5mg/ℓ 以下	7.5mg/ℓ 以上	300CFU/ 100mℓ以下
B	水産3級 工業用水1級 農業用水及びC欄に掲げ るもの	6.5以上 8.5以下	5mg/ℓ 以下	15mg/ℓ 以下	5mg/ℓ 以上	—
C	工業用水2級 環境保全	6.0以上 8.5以下	8mg/ℓ 以下	ごみ等の浮遊 が認められな いこと	2mg/ℓ 以上	—

- 備考 1 水産1級、水産2級及び水産3級については、当分の間、浮遊物質の基準は適用しない。
- 2 水道1級を利用目的としている地点（自然環境保全を利用目的としている地点を除く）については、大腸菌数100CFU/100mℓ以下とする。
- 3 水道3級を利用目的としている地点（水浴又は水道2級を利用目的としている地点を除く）については、大腸菌数100CFU/100mℓ以下とする。
- 4 大腸菌数に用いる単位はCFU（コロニー形成単位（ColonyFormingUnit））/100mℓとし、大腸菌を培地で培養し、発育したコロニー数を数えることで算出する。

- (注) 1 自然環境保全：自然探勝等の環境保全
- 2 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの
水道2, 3級：沈殿ろ過等による通常の浄水操作、又は、前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの
- 3 水産1級：ヒメマス等貧栄養湖型の水域の水産生物用並びに水産2級及び3級の水産生物
水産2級：サケ科魚類、アユ等貧栄養湖型の水域の水産生物用並びに水産3級の水産生物用
水産3級：コイ、フナ等富栄養湖の水域の水産生物用
- 4 工業用水1級：沈殿等による通常の浄水操作を行うもの
工業用水2級：薬品注入等による高度の浄水操作、又は、特殊な浄水操作を行うもの
- 5 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩等を含む）において不快感を生じない限度

(ウ) 湖沼の全窒素と全リンに係る環境基準

項目 類型	利用目的の適応性	基 準 値	
		全 窒 素	全 磷
I	自然環境保全及びⅡ以下の欄に掲げるもの	0.1mg/ℓ以下	0.005mg/ℓ以下
Ⅱ	水道1, 2, 3級（特殊なものを除く） 水産1種 水浴及びⅢ以下の欄に掲げるもの	0.2mg/ℓ以下	0.01mg/ℓ以下
Ⅲ	水道3級（特殊なもの）及びⅣ以下の欄に掲げるもの	0.4mg/ℓ以下	0.03mg/ℓ以下
Ⅳ	水産2種及びⅤの欄に掲げるもの	0.6mg/ℓ以下	0.05mg/ℓ以下
Ⅴ	水産3種、工業用水、農業用水、環境保全	1 mg/ℓ以下	0.1mg/ℓ以下

備考 1 基準値は、年間平均値とする。
2 水域類型の指定は、湖沼植物プランクトンの著しい増殖を生ずるおそれがある湖沼について行うものとし、全窒素の項目の基準値は、全窒素が湖沼植物プランクトンの増殖の要因となる湖沼について適用する。
3 農業用水については、全リンの項目の基準値は適用しない。

- (注) 1 自然環境保全：自然探勝等の環境保全
2 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの
水道2級：沈殿ろ過等による通常の浄水操作を行うもの
水道3級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの（「特殊なもの」とは、臭気物質の除去が可能な特殊な浄水操作を行うものをいう）
3 水産1級：サケ科魚類及びアユ等の水産生物用並びに水産2種及び水産3種の水産生物用
水産2級：ワカサギ等の水産生物用及び水産3種の水産生物用
水産3級：コイ、フナ等の水産生物用
4 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩等を含む）において不快感を生じない限度

(2) 農業用水の水質基準

農業用水の水質基準は、水稻の灌漑用水として維持することが望ましい水質として定められたものであり、これを超えると必ず被害が出るというわけではない。

表-8. 参5 農業（水稻）用水水質基準

項 目	基 準 値
PH（水素イオン濃度）	6.0～7.5
COD（化学的酸素要求量）	6 mg/ℓ以下
SS（無機浮遊物質）	100 mg/ℓ以下
DO（溶存酸素）	5 mg/ℓ以上
T-N（全窒素）	1 mg/ℓ以下
EC（電気伝導度）	0.3 mS/cm 以下
As（砒素）	0.05 mg/ℓ以下
Zn（亜鉛）	0.5 mg/ℓ以下
Cu（銅）	0.02 mg/ℓ以下

（農林水産技術会議 昭和46年10月4日）

(3) 水道水水質基準

水道水水質基準値（令和2年4月1日現在）

番号	項 目	基 準
1	一般細菌	1mlの検水で形成される集落数が100以下であること
2	大腸菌	検出されないこと
3	カドミウム及びその化合物	カドミウムの量に関して、0.003 mg/ℓ以下であること
4	水銀及びその化合物	水銀の量に関して、0.0005 mg/ℓ以下であること
5	セレン及びその化合物	セレンの量に関して、0.01 mg/ℓ以下であること
6	鉛及びその化合物	鉛の量に関して、0.01 mg/ℓ以下であること
7	ヒ素及びその化合物	ヒ素の量に関して、0.01 mg/ℓ以下であること
8	六価クロム化合物	六価クロムの量に関して、0.02 mg/ℓ以下であること
9	亜硝酸態窒素	0.02 mg/ℓ以下であること
10	シアン化物イオン及び塩化シアン	シアンの量に関して、0.01 mg/ℓ以下であること
11	硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10 mg/ℓ以下であること
12	フッ素及びその化合物	フッ素の量に関して、0.8 mg/ℓ以下であること
13	ホウ素及びその化合物	ホウ素の量に関して、1.0 mg/ℓ以下であること
14	四塩化炭素	0.002 mg/ℓ以下であること
15	1,4-ジオキサン	0.05 mg/ℓ以下であること
16	シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン	0.04 mg/ℓ以下であること
17	ジクロロメタン	0.02 mg/ℓ以下であること
18	テトラクロロエチレン	0.01 mg/ℓ以下であること
19	トリクロロエチレン	0.01 mg/ℓ以下であること
20	ベンゼン	0.01 mg/ℓ以下であること
21	塩素酸	0.6 mg/ℓ以下であること
22	クロロ酢酸	0.02 mg/ℓ以下であること
23	クロロホルム	0.06 mg/ℓ以下であること
24	ジクロロ酢酸	0.03 mg/ℓ以下であること
25	ジブロモクロロメタン	0.1 mg/ℓ以下であること
26	臭素酸	0.01 mg/ℓ以下であること
27	総トリハロメタン（クロロホルム、ジブロモクロロメタン、プロモジクロロメタン及びブロモホルムのそれぞれの濃度の総和）	0.1 mg/ℓ以下であること
28	トリクロロ酢酸	0.2 mg/ℓ以下であること
29	プロモジクロロメタン	0.03 mg/ℓ以下であること
30	ブロモホルム	0.09 mg/ℓ以下であること
31	ホルムアルデヒド	0.08 mg/ℓ以下であること
32	亜鉛及びその化合物	亜鉛の量に関して、1.0 mg/ℓ以下であること
33	アルミニウム及びその化合物	アルミニウムの量に関して、0.2 mg/ℓ以下であること
34	鉄及びその化合物	鉄の量に関して、0.3 mg/ℓ以下であること
35	銅及びその化合物	銅の量に関して、1.0 mg/ℓ以下であること
36	ナトリウム及びその化合物	ナトリウムの量に関して、200 mg/ℓ以下であること
37	マンガン及びその化合物	マンガンの量に関して、0.05 mg/ℓ以下であること
38	塩化物イオン	200 mg/ℓ以下であること
39	カルシウム、マグネシウム等（硬度）	300 mg/ℓ以下であること
40	蒸発残留物	500 mg/ℓ以下であること
41	陰イオン界面活性剤	0.2 mg/ℓ以下であること
42	(4S・4aS・8aR)－オクタヒドロ－4・8a－ジメチルナフタレン－4a(2H)－オール（別名ジェオスミン）	0.0001 mg/ℓ以下であること
43	1・2・7・7－テトラメチルピシクロ[2・2・1]－ヘプタン－2－オール（別名2－メチルイソボルネオール）	0.00001 mg/ℓ以下であること
44	非イオン界面活性剤	0.02 mg/ℓ以下であること
45	フェノール類	フェノールの量に換算して、0.005 mg/ℓ以下であること
46	有機物（全有機炭素（TOC）の量）	3 mg/ℓ以下であること
47	PH 値	5.8以上8.6以下であること
48	味	異常でないこと
49	臭気	異常でないこと
50	色度	5度以下であること
51	濁度	2度以下であること

(4) 工業用水の水質基準

工業用水道の供給標準水質（昭 46 制定、日本工業用水協会・工業用水水質基準制定委員会）

業 種	濁 度 (mg/L)	pH (-)	アルカリ度 CaCO ₃ (mg/L)	硬度 CaCO ₃ (mg/L)	蒸発 残留物 (mg/L)	塩素イオン Cl ⁻ (mg/L)	鉄 Fe (mg/L)	マンガン Mn (mg/L)
工業用水道 供給標準値	20	6.5～8.0	75	120	250	80	0.3	0.2

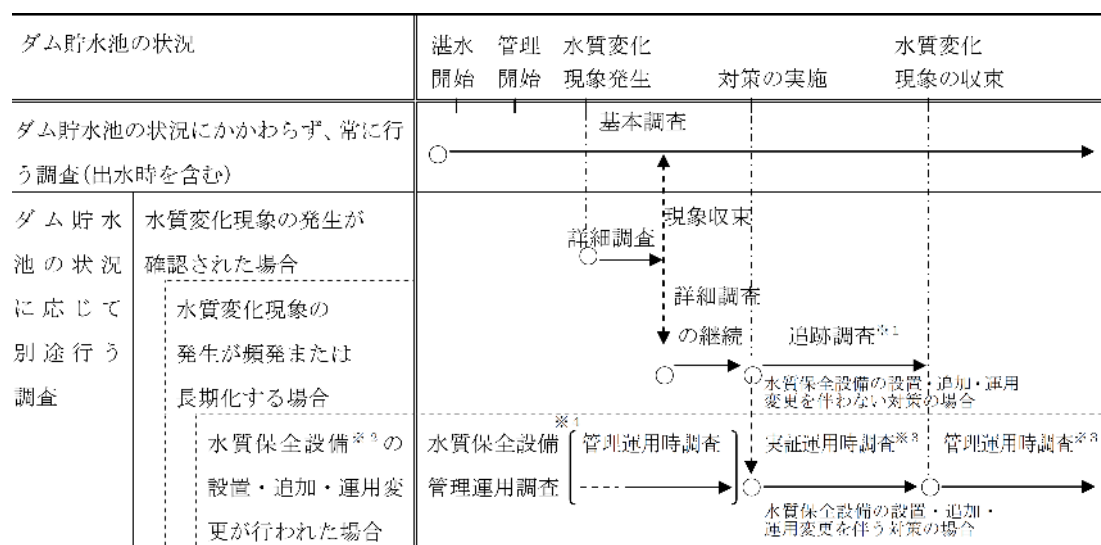
8.2.3 水質調査

貯水池で水質問題が生じている、または、今後発生するおそれがあり、保全対策を検討する場合には、まず目的にあった水質調査を行い、その結果に基づいてどのような対策をとるかを検討する。対策の検討に当たっては適切なシミュレーションモデルを用いて、その結果を予測する。

8.2.3.1 水質調査の概要

水質調査は貯水池の水質の監視・把握を目的とする「基本調査」と、水質変化現象の把握や水質保全対策検討のための資料収集を目的とした「詳細調査」に分けられる。貯水池の状況に応じて実施する調査の種類とその目的を表-8.2、8.3に示す。

表-8.2 貯水池の状況に応じて実施する調査の種類



※1 追跡調査はおおむね3年を目安として、詳細調査又はそれに準じた調査を行う。

※2 本調査要領における水質保全設備は、冷・温水現象、濁水長期化現象及び富栄養化の軽減を目的とする曝気循環設備、選択取水設備等の管理運用を行う設備とする。

※3 水質保全設備※2の設置等を伴う対策を実施した場合に、効果の確認等をおおむね3年を目安に実施(実証運用時調査)した後、効果を継続的に確認(管理運用時調査)する調査として、水質保全設備管理運用調査を行う。

※4 既に水質保全設備が設置されている場合

(引用文献:「ダム貯水池水質調査要領P. I-3」(平成 27 年 3 月、国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課)

表-8.3 調査の種類とその目的

調査の種類	調 査 名	調査の目的及び基本的考え方	調査対象ダム
①基本調査	■定期検査 ■出水時調査 ■試験洪水時調査	イ) 水質等の状況を定期的に把握し、その実態を経年的に把握すること等を目的として行う調査である。 ロ) 調査項目は水質汚濁に係る環境基準項目を中心とし、必要に応じて富栄養化現象に係る項目等についても調査を行う。 ハ) 冷・温水現象や濁水長期化現象を監視すること等を目的とした調査についても行う。 ニ) 試験洪水時の水質の状況の把握を目的とした調査についても行う。	全てのダム
②詳細調査	■冷・温水現象発生時調査 ■濁水長期化現象発生時調査 ・出水濁水長期化現象発生時調査 ・濁水濁水長期化現象発生時調査 ■富栄養化現象発生時調査 ・生物異常発生時調査 ・カビ臭発生時調査 ■その他水質変化現象発生時調査 ・硫化水素臭発生時調査 ・カビ臭・硫化水素臭以外の異臭味発生時調査 ・赤水・黒水発生時調査	イ) 水質変化現象の発生が確認された場合に、その詳細な実態を迅速かつ的確に把握するとともに、影響の実態を踏まえた対策の検討・立案を目的として行う調査である。 ロ) 水質保全設備の放置、追加、運用変更を伴わない対策を実施した場合は、効果の確認等を目的として、詳細調査又はそれに準じた調査として、追跡調査を行う。	水質変化現象の発生が確認されたダム
③水質保全設備管理運用調査	■実証運用時調査 ■管理運用時調査	イ) 喚起循環設備等の水質保全設備の設置、追加、運用変更を伴う対策を実施した場合に、効果の確認等を目的として行う調査である。 ロ) 実証運用時調査後の管理段階における効果を継続的に確認するために、実証運用時調査に準じた調査として管理運用時調査を行う。	水質保全設備の設置等を伴う対策を実施したダム

(引用文献：「ダム貯水池水質調査要領P. I-4」(平成27年3月、国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課))

8.2.3.2 水質調査における留意事項

水質調査を実施する上で留意する事項は次のとおりである。

(1) 洪水時の流入負荷量調査

洪水時には、濁水、栄養塩類とともにそれらの流入負荷量が極めて増大する。したがって、水質のシミュレーションを行い対策を検討する上で、流量と流入負荷量の関係が得られるように測定しておく必要がある。

(2) 濁水、SS、粒度分布の測定

濁度とSS（浮遊懸濁物）は異なる指標であり、これらの関係は粒度分布により異なっているので、濁度とSSの関係を調べておくことが望ましい。

(3) 窒素、リンの形態調査

窒素、リンの形態により藻類の増殖に寄与する度合いが異なるので総窒素、総リンのみでなく形態ごとにその量を調べておく必要がある。

(4) 水質現象に応じた調査

水質変化の現象発生の時期、場所、貯水池の運用水位、堆泥の露出との関係から原因をある程度推定した上で、それを確認するための調査を行うことが望ましい。

(5) 流域の汚濁源調査

流域での富栄養化対策を立てるためには、流域での汚濁源調査を行う。その場合、畜産等の事業場からでる負荷量は糞尿や排水処理方式により大きく変わるので、家畜の頭数や出荷額だけでなく排水などの処理方式の実態についても調べるのが望ましい。

(6) 水質の異常現象時

貯水池の水質になんらかの異常現象が見られた場合、水質の現況は短期間で大きく変化する場合もあるので、直ちに採水してなるべく早く分析調査する必要がある。

8.2.3.3 気象・水象調査

気象・水象に関する調査は冷水、濁水、富栄養化のいずれの現象にも共通して実施する必要がある。

(1) 調査項目

- ア 流量
- イ 気象
 - ・ 気温
 - ・ 湿度
 - ・ 風速
 - ・ 雲量
 - ・ 日射量（日積算値）

(2) 調査地点

調査地点の選定は、貯水池への流入水、貯留水及び放流水の水質が観測できるところを基本とする。流量についてはダムサイト地点、気象についてはダムサイト近傍とする。

【参 考】 水質調査地点の目安

調査地点の決め方と調査点数は、貯水池の規模・流入河川の形態によって変わるが、湖沼環境調査指針（1982年、（社）日本水質汚濁研究協会）によれば、図-8. 参1、表-8. 参6に示すような目安で行えばよいとされている。

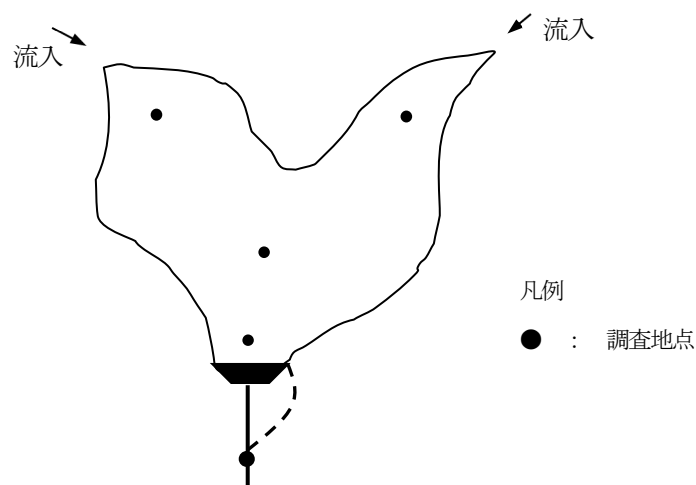


図-8. 参1 水質調査地点の例

表-8. 参6 調査地点の目安

主要な 流入河川の数	湖面面積		
		< 3 km ²	> 3 km ²
1		1～2	2～3
2		2～3	3～4
> 3		3～4	4～5

流入水調査地点は、貯水池上流で背水の及ばない地点とし、通常貯水池に一番近い水位観測所付近とするが、途中に大きな濁りその他の負荷源が存在するときは、それより下流側にすることが必要である。

また、負荷源の大きさ、流量等により必要と判断される場合は、主要河川にも設置することもある。

貯水池内調査地点は、貯水池水質を代表できる箇所へ設置することが必要で、貯水池内最下流地点を基本とし、放流水調査地点は、貯水池下流で放流設備から放流水が河川と合流した後の地点とする。

(3) 調査頻度

流量については、解析対象期間（通常 1 年以上）の日流量を整理することとする。ただし、洪水時には毎正時流量について整理を行う必要がある。また、水質観測値との対応を明確にしておかなければならない。一方、気象については、毎日の定時調査によるものとするが、シミュレーションを実施する上では、気象庁の観測値を利用することも可能である。

以上のほか、天候、降水量、風向等についての資料を整理しておくことが望ましい。

8.2.3.4 冷水現象

(1) 調査項目

・水温

水温の測定は、検定済みか補正済みのもので測定誤差が±0.5℃以下の温度計によるものとする。また、測定には、サーミスター温度計、白金測温抵抗体温度計の使用が望ましく、

観測の迅速化、効率化を考慮して、できる限り固定観測点での自動観測が望ましい。

(2) 調査地点

調査地点の選定は、8.2.3.3(2)と同様とする。

(3) 調査頻度

平常時は週2～3回程度、洪水時は流量が増加を始めてから洪水前の状態にもどるまでを調査期間として、この間毎日1回調査を行う。調査を行う洪水は年3洪水を目標とする。

8.2.3.5 濁水長期化現象

(1) 調査項目

- ・水温
- ・濁度
- ・濁度試料分析（pH、SS、粒度組成、沈降速度、鉍物組成）

濁度の測定については投げ込み式の濁度計もあるが、精度上若干の問題が残されており、採水後の室内分析を原則とする。

(2) 調査地点

調査地点の選定は、8.2.3.3(2)と同様とする。

(3) 調査頻度

平常時は週2～3回程度、洪水時は年3洪水を目標として実施し、洪水に伴い濁度が増加を始めてから洪水前の状態に戻る間を調査期間とし、この間毎日1回調査を行う。ただし、濁度ピーク前後の変動の激しい期間については更に頻度を増して測定を行う。

シミュレーションモデルのインプットデータ及び解析実施上からは、少なくとも、1年につき平常時月1回、洪水時3回以上（洪水前後及び洪水時）の資料収集が必要である。

(4) 採水方法

採水方法は、自動採水器による採水と、手動による採水方法がある。

【参 考】採水時の留意事項

自動計測器を設置して観測する場合を除き、現地で定期的に採水する場合には、調査地点を明らかにしておく必要がある。特に平面図に位置を示しているだけでは、現地で不明瞭な場合があるため、調査員が同一人でなくても確実に調査位置がわかるように標杭を設定しておくなどの処置が必要である。

また、調査地点の写真を撮っておくことも有効である。

水質測定には、現地で測定できる項目と採水して室内で分析しなければならない項目がある。現地で測定可能な項目としては、水温、pH、電気伝導度、DO、濁度がある。また、室内で分析しなければならない項目としては、COD、BOD、SS、窒素、リン、重金属がある。

8.2.3.6 富栄養化現象

(1) 調査項目

調査項目としては次に示す項目が望ましいが、ダムの目的等に応じて必要な項目を設定する。

- ・COD（化学的酸素要求量）

- ・ T-P (総磷)
- ・ $\text{PO}_4\text{-P}$ (オルト磷)
- ・ T-N (総窒素)
- ・ $\text{NO}_2\text{-N}$ (亜硝酸態窒素)
- ・ $\text{NO}_3\text{-N}$ (硝酸態窒素)
- ・ K-N (ケルダール態窒素)
- ・ $\text{NH}_4\text{-N}$ (アンモニア態窒素)
- ・ ST-P (溶解性総磷)
- ・ $\text{SP}_4\text{-P}$ (溶解性オルト磷)
- ・ ST-N (溶解性総窒素)
- ・ SK-N (溶解性ケルダール態窒素)

T-N は $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、K-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の和として求める。

(2) 調査地点

調査地点の選定は、8.2.3.3(2)と同様とする。

(3) 調査頻度

平常時は月2回、ただし冬期は月1回とする。なお、溶解性に関する項目(ST-P、 $\text{SP}_4\text{-P}$ 、ST-N、SK-N)は月1回、冬期は隔月とする(採水は1日1回)。

洪水時については年2～3洪水を目標とし、流量が増大を始めてから洪水前の状態に戻る間に6回調査を行う。ただし、溶解性に関する項目は(ST-P、 $\text{SP}_4\text{-P}$ 、ST-N、SK-N)3回とする。

シミュレーションによる解析を行う場合には、少なくとも1年間につき平常時月1回、洪水時3回以上(洪水前後及び洪水時)の資料収集が必要である。

(4) 採水方法

採水方法は、8.2.3.5(4)と同様とする。

(5) 概略予測手法

ダム建設前の河川の水温と濁水に関する調査結果、計画基準年における貯水池の運用計画及び気象・水象記録をもとに貯水池内の水温・水質の挙動を数理モデルなどで推定し、ダム湛水後の影響を予測する。

貯水池の水質を概略予測する方法として Vollenweider モデルがある。この方法は、貯水池の富栄養化は栄養塩の流入負荷によるものが支配的と考え、リンの流入負荷量により貯水池の表層水質を予測しようとするものである。また、概略予測により水質問題の発生可能性がある判断された場合には、必要に応じて表-8.4に示すシミュレーションモデルにより詳細な予測を行う。

○：解析可能
△：部分的に解析可能
－：解析不可

表-8.4 水質予測手法

詳細予測手法 (数値計算手法)	解析の 時間 単位	流れ の次元	冷濁水	栄養 塩類 濃度	植物プラン クトン 濃度	概 要	予測内容
ボックス モデル	日	△	－	○	○	栄養塩負荷モデルと生態系モデルがあり、富栄養化の水質予測の検討に用いられる。鉛直方向は、1層の場合と成層がある場合には2層以上に分割する場合がある。	BOD、COD、T-P、T-N、植物プランクトン
メッシュ モデル	鉛直 一次元 モデル	秒	一次元	○	○	水域を深さ方向のみに分割して、水温躍層や濁水についての挙動を解析するのに適している。	BOD、COD、T-P、T-N、水温・温度 DO
	鉛直 二次元 モデル	秒	二次元	○	○	水域の形状が長方形に近い場合など、水域を鉛直方向と長辺方向の二軸で表現する方法。	同 上
	平面 二次元 モデル	秒	二次元	－	○	水域内の鉛直方向は均一として、平面方向についてのみ計算する方法。浅い水域への適用例が多い。	同 上
	三次元 モデル	秒	三次元	○	○	空間を三次元で分割して計算する方法。複雑な形状の水域など地点によって水質濃度が大きく異なる場合に有効。実用上は鉛直方向を静水圧近似した三次元モデルが使われる。	同 上

(引用文献: 吉永育生、白谷栄作、長谷部均(2000): アオコ発生と水質解析、農業土木第606号、PP. 24-26.)

また、富栄養化の程度を示す指標については表-8.5に示すような多くの研究がなされているが、その判断基準にはかなりの幅があり、この指標で判断できるものではないため、栄養塩類濃度をはじめとする多くの指標を用いて総合的に判断する。

表-8.5 富栄養化の限界及び階級^{1),2)}

指 標 \ 階 級	貧栄養	中栄養	富栄養	出 所
T-P (mg/m ³)	5~10	10~30	30~100	Vollenweider1967
	2~10	10~30	10~90	坂本 1966
	<20		>20	吉村 1937
	<10	10~20	>20	US EPA1974
	<12	12~24	>24	Carlson1977
	<12.5	12.5~25	>25	Ahl&Wiederholm1977
	<10	10~20	>20	Rast&Lee1978
	<10	10~35	35~100	OECD
※	<15	15~25	25~100	Forsberg&Ryding1980
T-N (mg/m ³)	20~200	100~700	500~1300	坂本 1966
※	<400	400~600	600~1500	Forsberg&Ryding1980
I-N (mg/m ³)	200~400	300~650	500~1500	Vollenweider1967
クロロフィル a (mg/m ³)	<4	4~10	>10	US EPA1974
※	<3	3~7	7~40	Forsberg&Ryding1980
年平均クロロフィル濃度 (mg/m ³)	<2.5	2.5~8	8~25	OECD
最大クロロフィル濃度 (mg/m ³)	<8.0	8~25	25~75	OECD
透明度 (m)	>3.7	2.0~3.7	<2.0	US EPA1974
	>4.0	2.0~4.0	<2.0	Carlson1977
	>4.0	2.5~4.0	<2.5	Rast&Lee1978
	※ >4.0	2.5~4.0	1.0~2.5	Forsberg&Ryding1980
年平均透明度 (m)	>6.0	6~3	3~1.5	OECD
最小透明度 (m)	>3.0	3~1.5	1.5~0.7	OECD
深水層の溶存酸素量 (飽和%)	>80	10~80	<10	US EPA1974
増殖期における1次生産力の 平均値 mg C/m ³ /日	30~100	300~1000	1500~3000	Rodhe
1次生産力の年 平均値 mg C/m ³ /年	7~25	75~250	350~700	Rodhe

注1) ※印は夏期(6月~9月)平均値

注2) mg C/m³:有機炭素濃度

(引用文献: 1)岩佐義朗編著(1990):湖沼工学、山海堂、P. 224.)

: 2) (社)日本水質汚濁研究協会 (1982):湖沼環境調査指針、湖沼対策技術同友会、pp. 224-225.

水質現象の予測解析に当たっては、図-8.10 に示すように概略判定指標、簡易モデル、数量化理論、類似ダムによる予測等の手法を用いて、まず水質現象発生の可能性を概略検討し、その結果を踏まえ必要に応じてシミュレーションモデルによる詳細検討を行い、結果を総合評価するという手順が一般的である。

なおⅡ類、Ⅲ類の環境基準を表-8.6 湖沼の全窒素と全磷に係る環境基準に示す。

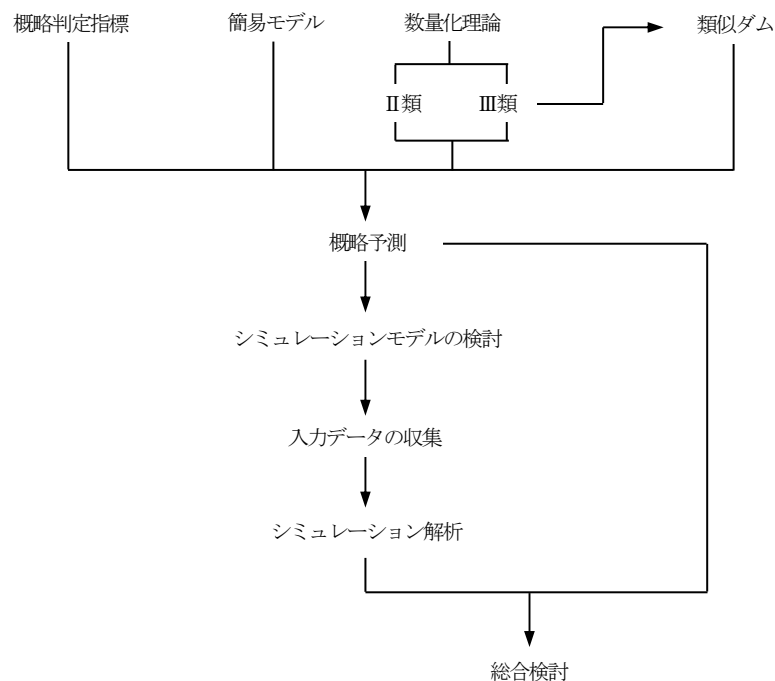


図-8.10 水質現象の予測解析手法

表-8.6 湖沼の全窒素と全リンに係る環境基準

項目 類型	利用目的の適応性	基準値	
		全窒素	全リン
I	自然環境保全及びⅡ以下の欄に掲げるもの	0.1mg/ℓ以下	0.005mg/ℓ以下
Ⅱ	水道1, 2, 3級（特殊なものを除く） 水産1種 水浴及びⅢ以下の欄に掲げるもの	0.2mg/ℓ以下	0.01mg/ℓ以下
Ⅲ	水道3級（特殊なもの）及びⅣ以下の欄に掲げるもの	0.4mg/ℓ以下	0.03mg/ℓ以下
Ⅳ	水産2種及びⅤの欄に掲げるもの	0.6mg/ℓ以下	0.05mg/ℓ以下
Ⅴ	水産3種、工業用水、農業用水、環境保全	1mg/ℓ以下	0.1mg/ℓ以下

備考 1 基準値は、年間平均値とする。

2 水域類型の指定は、湖沼植物プランクトンの著しい増殖を生ずるおそれがある湖沼について行うものとし、全窒素の項目の基準値は、全窒素が湖沼植物プランクトンの増殖の要因となる湖沼について適用する。

3 農業用水については、全リンの項目の基準は適用しない。

(注) 1 自然環境保全：自然探勝等の環境保全

2 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの

水道2級：沈殿ろ過等による通常の浄水操作を行うもの

水道3級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの（「特殊なもの」とは、臭気物質の除去が可能な特殊な浄水操作を行うものをいう）

3 水産1級：サケ科魚類、アユ等の水産生物用並びに水産2種及び水産3種の水産生物用

水産2級：ワカサギ等の水産生物用及び水産3種の水産生物用

水産3級：コイ、フナ等の水産生物用

4 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩等を含む）において不快感を生じない限度

8.2.3.7 観測システム

水質調査は、貯水池の状態にかかわらず常実施される基本調査と貯水池の状態に応じて実施される対策調査等に区分される。一方、計器観測の方法には自動観測と手動観測があり、基本調査の一部として定期的に行われる水質調査は、その主旨からも、固定観測点での自動観測が望ましい。

8.2.4 観測結果の整理

管理の記録は、できるだけ検索が容易で、関連ある記録と対比しやすいように整理しておく必要がある。

8.2.4.1 観測結果の記録（記録様式）

観測結果は、速やかに表又はグラフにより記録する。また、当該ダムに適した記録様式を、あらかじめ定めておくものとする。

記録様式の例を表-8.7に示す。

表-8.7 水質観測結果の例

〇〇ダム水質調査表

A 地点

項 目	〇月〇日	〇月〇日	〇月〇日	〇月〇日	〇月〇日
水 温					
濁 度					
pH					
COD					
T-P					
PO4-P					
T-N					

8.2.4.2 観測結果の評価

(1) 評価基準の位置付け

観測結果は、当該ダムで定めた目標の水質と比較して評価する。目標の水質を上回った場合には、その原因を把握し、対策を講じる必要がある。

(2) 水質管理図の作成

観測されたデータは、8.2.4.1の記録様式に基づいて表として記録されるが、表の状態では傾向が把握しにくいので、水質管理図などのグラフを作成して視覚的にわかりやすいものを作成することが重要である。

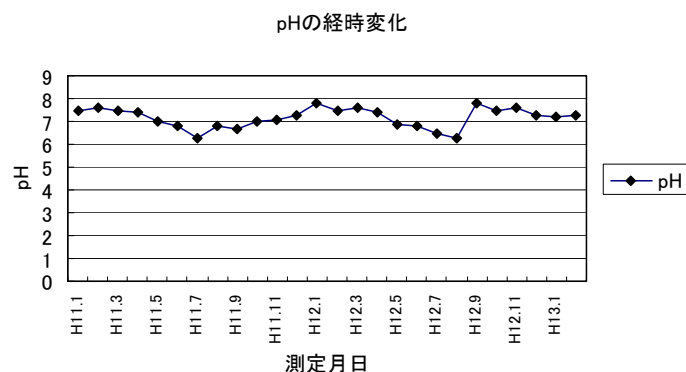


図-8.11 水質管理図の例

8.2.5 水質対策

貯水池の水質対策は、水質変化現象が発生した際の緊急対応から、対策の検討・実施、対策後の維持管理までが一連のプロセスとして行われるものであり、対策の効果確認等を行い、PDCAサイクルによる見直しを行いながら、適切な水質が維持されるよう努めることが望ましい。また、水質対策は、流域全体（水質変化現象の発生源となる上流域の状況、下流域関係者の水質の受け止め方やニーズ等を含む。）を考えて、流域関係者と連携して取り組むことが重要であり、必要に応じて、流域関係者からの意見・要望の聴取、流域関係者と協同した対策・調査の実施等の連携を図ることが望ましい。なお、「ダム貯水池水質改善対策の手引き（平成30年 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課）」には、水質対策における基本的な検討事項等が整理されている。

8.2.5.1 冷水対策

混合型の貯水池では、貯水池内の水温は流入河川の水温とおおむね等しいので、貯水池から放流される水の水温はダムがなかったときの河川水温和ほぼ同じであり、ダムが原因となる冷水問題は起こらない。しかし、成層型の貯水池では、底層水の水温は年間を通じて低い温度で一定に近い値になっているので、取水口の位置が水温躍層よりも深い場合には、流入河川水の水温よりもかなり低い水温の水が放流されることになる。

一般には、成層期の表面近くの水温は流入河川の水温よりかなり高いので、冷水のみが問題になっている場合は、表面取水装置を設けて表層水を取水することで解決する。しかし、冷水のほかに濁水あるいは富栄養化などの問題がある場合には、水質の状況を総合的に見て適切な深さから取水する必要があり、この場合には任意の水深から取水できる選択取水設備の設置が望ましい。

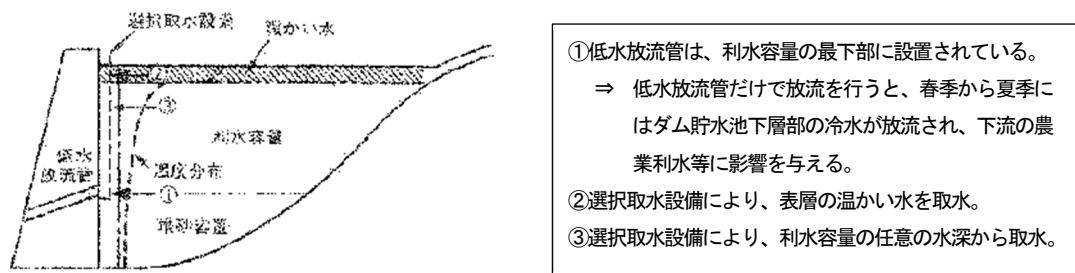


図-8.12 成層型貯水池における選択取水の模式図

（引用文献：ダム管理の実務 P.150 を加筆修正）